



Un modèle de simulation pluriannuelle des systèmes de production d'Afrique subsaharienne: Simflex

Nadine Andrieu, Eduardo Chia

► To cite this version:

Nadine Andrieu, Eduardo Chia. Un modèle de simulation pluriannuelle des systèmes de production d'Afrique subsaharienne: Simflex. Partenariat, modélisation, expérimentations: quelles leçons pour la conception de l'innovation et l'intensification écologique?, Nov 2011, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. 12 p. hal-00719367

HAL Id: hal-00719367

<https://hal.science/hal-00719367>

Submitted on 19 Jul 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Un modèle de simulation pluriannuelle des systèmes de production d'Afrique subsaharienne : Simflex

Nadine ANDRIEU*, Eduardo CHIA**

*CIRAD, UMR Innovation, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso
CIRAD, UMR Innovation, F-34398 Montpellier, France

**INRA, UMR Innovation, Montpellier, France
CIRAD, UMR Innovation, F-34398 Montpellier, France

Résumé- Un modèle de simulation pluriannuelle des systèmes de production d'Afrique sub-saharienne : le modèle Simflex. L'agriculture des pays du sud et de l'Afrique en particulier doit répondre à une augmentation de la demande en produits agricoles dans un environnement incertain. La recherche doit proposer des alternatives pour augmenter la productivité des systèmes de production sans limiter leur capacité d'adaptation aux risques et mettre au point des modèles pour analyser leur flexibilité en fonction de différents scénarios de changement. L'objectif de cet article est présenter un modèle permettant d'analyser l'impact des propositions de la recherche sur la flexibilité des exploitations face aux aléas de l'environnement de production. L'étude a été menée au Burkina Faso. Des enquêtes et suivis sur les règles d'adaptation des exploitations ont permis de construire un modèle original baptisé Simflex. Ce modèle a été utilisé pour simuler l'impact de l'introduction d'une fosse fumière et d'un atelier d'embouche en fonction d'une série pluriannuelle de données climatiques et de prix des intrants et des produits. Simflex est constitué d'un sous modèle biophysique et d'un sous modèle décisionnel simulant les principales règles d'adaptation mobilisés par les trois principaux types de systèmes de production rencontrés (agriculteurs, agro-éleveurs, éleveurs). L'analyse de la variabilité des résultats de simulation des différents types de scénarios montre que la fosse fumière, en limitant partiellement la dépendance aux engrais chimiques permet d'augmenter et de stabiliser le revenu de l'exploitation. L'introduction de l'embouche bovine augmente la variabilité du revenu pour les trois types de producteurs simulés. Le modèle Simflex permet d'analyser l'impact des propositions de la recherche sur la flexibilité des systèmes de production aux aléas en Afrique de l'Ouest. De telles analyses sur des pas de temps longs sont utiles à la conception d'innovations.

Introduction

L'agriculture des pays du Sud doit répondre à une augmentation de la demande en produits agricoles liée à l'augmentation de la pression démographique (Herrero, 2010). Mais cette augmentation de la demande intervient dans un contexte marqué par un accroissement de la variabilité de l'environnement de production (Cooper *et al.*, 2008 ; Stringer *et al.*, 2008).

Les producteurs africains ont de tout temps été confrontés à une forte variabilité de leur environnement de production (Thomas, 2007 ; Twomlow, 2008). Dans cette zone, la faible structuration des filières, le faible niveau d'accès au crédit et l'absence de système de garantie (Adesina et Ouattara, 2000) sont des facteurs d'exposition des exploitations aux aléas.

Face à ces situations d'incertitude, les producteurs ont mis en place toute une gamme de stratégies pour faire face aux aléas via par exemple le choix de variétés ou d'espèces tolérantes à la sécheresse, la diversification des sources de revenus via les activités extra-agricoles ou l'élevage (Abdulai et Croleress, 2001 ; Stringer *et al.*, 2009 ; Thomas, 2007 ; Dostie *et al.*, 2002). Mais face à une augmentation prévue de la variabilité de l'environnement les propositions de la recherche ne doivent pas affecter leur capacité d'adaptation à l'augmentation des risques (Lev et Campbell, 1987) voire même proposer des options pouvant améliorer cette capacité d'adaptation (Rockström, 2003).

L'enjeu pour la recherche est alors de concevoir des modèles pour évaluer l'impact de ses propositions sur la flexibilité des systèmes de production.

Issue des sciences de gestion la flexibilité désigne la capacité des systèmes de production à faire face à un environnement en mutation grâce à la mise en place de stratégies basées sur l'apprentissage (Barthélémy et Donada, 2007 ; Chia et Marchesnay, 2008). Le concept présente des convergences avec celui de vulnérabilité issu des sciences de l'économie politique, écologie politique et géophysique et celui de résilience issu de l'écologie (Miller et al., 2010). Tous ces concepts sont utilisés pour étudier la réponse des systèmes à la variabilité de l'environnement ou au changement même si compte tenu de leurs disciplines d'origine ils sont appliqués à des objets d'étude contrastés. Le concept de flexibilité est davantage appliqué à l'étude des décisions qui sont prises au sein d'une entreprise. Il est de plus en plus utilisé pour étudier les stratégies d'adaptation des exploitations aux aléas (Dedieu et al., 2008 ; Ingrand et al., 2006 ; Weiss, 2001).

Les modèles d'exploitation peuvent constituer des outils pertinents pour analyser la flexibilité des systèmes de production. Ils permettent en effet de tester différents scénarios d'évolution climatique ou économique ou l'introduction de différentes techniques innovantes. Mais les modèles d'exploitation utilisés en Afrique de l'Ouest sont le plus souvent des modèles d'optimisation (Stonehouse et al., 2002 ; Torkamani, 2005) qui permettent d'analyser l'effet du risque sur le revenu maximal mais ne permettent pas de simuler de façon dynamique les stratégies mises en place par les producteurs pour faire face aux aléas.

Comment évaluer l'impact des propositions de la recherche sur la flexibilité des systèmes de production ?

L'hypothèse principale est que par une modélisation des stratégies d'adaptation des producteurs on peut évaluer l'impact des propositions de la recherche sur la flexibilité des systèmes de production, une proposition diminue la flexibilité d'un système de production lorsqu'elle augmente la variabilité des résultats de production.

L'objectif de cet article est de présenter un modèle de recherche permettant d'analyser l'impact des propositions de la recherche sur la flexibilité de l'exploitation en Afrique de l'Ouest

Cet article se base sur un modèle original développé à partir d'enquêtes sur la flexibilité de producteurs et permettant de simuler les règles d'adaptation des producteurs. Ce modèle a été utilisé pour simuler l'impact sur le fonctionnement de l'exploitation de différents scénarios d'introduction d'options techniques en fonction d'une série pluriannuelle de données climatiques et de prix des intrants et produits agricoles.

Cet article présente le modèle utilisé puis son application à l'analyse de différentes options techniques proposées par la recherche en Afrique de l'Ouest sous différentes séries climatiques et économiques avant de discuter de l'intérêt d'une telle analyse de la flexibilité pour la conception d'innovations.

Matériel et méthode

Zone d'étude

L'étude a été menée au Burkina Faso dans deux villages Koumbia (3°41'15" West; 11°14'47" North) et Kourouma (4°47'29" West; 11°36'44" North) situés au sein de la zone cotonnière du Burkina Faso. C'est la zone la plus favorable à l'agriculture avec une pluviométrie comprise entre 650 et 1000 mm par an. Mais cette zone se caractérise également par une forte variabilité spatiotemporelle des précipitations (Ingram et al., 2002).

Les systèmes de production sont fortement intégrés au marché via la culture de coton. La Sofitex (Société Burkinabè des Fibres Textiles), est une entreprise semi public du gouvernement Burkinabè et de l'industrie textile française exportant le coton. Elle donne accès aux intrants du coton et du maïs à crédit. La règle d'attribution du crédit par la Sofitex est qu'il est prioritairement destiné à l'achat d'intrants pour le coton mais que pour un tiers il peut permettre l'achat d'engrais pour le maïs afin d'assurer la sécurité alimentaire des ménages.

Au Burkina Faso l'agriculture et l'élevage sont traditionnellement portés par des groupes sociaux distincts (Dugue *et al.*, 2004), même si avec le développement de la traction animale, l'augmentation de la pression démographique et le revenu généré par la culture du coton on assiste à l'émergence d'un groupe d'agro-éleveurs (Vall *et al.*, 2006).

On distingue alors trois types de systèmes de production : les agriculteurs, agro-éleveurs et éleveurs. Ces trois types de systèmes intègrent tous à différents degrés l'agriculture et l'élevage mais se distinguent par la stratégie de production. Les agriculteurs tirent leur principale rente de la culture du coton et des

surplus céréaliers, ils ont acquis des bœufs de trait et des petits ruminants mais les effectifs animaux restent réduits (< 10 animaux), les éleveurs tirent leur rente de la production de lait et de viande et cultivent des céréales pour l'autoconsommation et parfois le coton lorsque les prix des intrants et de vente du coton sont favorables, les agro-éleveurs intègrent de façon complémentaire une rente issue de l'agriculture (coton et céréales) à une rente issue de l'élevage (viande essentiellement).

Démarche méthodologique d'analyse de la flexibilité

Pour construire le modèle conceptuel et analyser la flexibilité des systèmes de production nous avons enquêté 36 producteurs représentatifs des trois types de systèmes de production observés dans la région : agriculteur, éleveur, agro-éleveur.

Pour ces enquêtes nous avons dans un premier temps élaboré une grille de lecture de la flexibilité en se basant sur les apports complémentaires de différents auteurs.

La grille de lecture que nous retenons distingue trois types de flexibilité :

- une flexibilité stratégique qui renvoie aux choix à long terme et à la capacité à modifier la structure de l'entreprise (Chia et Marchesnay, 2008) ;
- une flexibilité opérationnelle qui permet à l'entreprise de créer une grande diversité de produits, de les modifier et de les renouveler rapidement (Weiss, 2001).
- une flexibilité tactique ou numérique qui se traduit par des ajustements à court terme via la modification des volumes des facteurs de productions ou des produits (Errington et Gassont, 1994 ; Weiss, 2001).

Pour renseigner cette grille nous avons identifié lors de focus groupe avec les producteurs 3 séries climatiques virtuelles et 3 séries économiques virtuelles. La première série climatique est une série de référence bâtie à partir de données de pluviométrie d'une année jugée favorable par les producteurs. La série climatique suivante correspond à une année présentant un début tardif de la pluviométrie et la troisième un déficit pluviométrique. La première série économique est une série de référence où le prix du coton est jugé correct par les producteurs ainsi que celui des intrants. La série économique suivante correspond à une année caractérisée par une hausse du prix du coton ainsi que de celui des intrants et la troisième par une baisse du prix du coton et une hausse du prix des intrants.

Nous avons demandé aux producteurs lors d'enquêtes individuelles de décrire leur conduite des systèmes de culture et d'élevage en fonction des différentes séries identifiées. Nous avons également analysé les écarts entre les pratiques prévues en début de campagne 2008-2009 et celles effectivement réalisées durant la campagne pour un nombre plus réduit de 12 producteurs (4 agriculteurs, 4 éleveurs, 4 agro-éleveurs). Les conditions pluviométriques de cette année là ont été jugées favorables par les producteurs en revanche elle s'est caractérisée par une hausse du prix des engrais et une baisse du prix du coton. Les adaptations mobilisées par les producteurs ont été répertoriées dans la grille afin d'identifier pour chaque type de producteur les principales adaptations mobilisées.

En fonction des principales composantes des systèmes de production enquêtés, un modèle conceptuel a été développé sous UML (Figure 1).

Le modèle a été développé sous python qui est un langage orienté objet disponible gratuitement.

Le modèle fait la synthèse de données de littérature pour ce qui est de la représentation des processus biophysiques tels que la production des systèmes de culture (Diop et Coulibally, 2002, Pieri, 1989) ou celle des systèmes d'élevage (Centre Agro Entreprise, 2000 ; Cirad-gret, 2002 ; IEMVT, 1988 ; Sangare, 2005) de mesures de terrain pour ce qui est du paramétrage du modèle (teneur en N,P,K des déjections animales) et des données d'enquêtes auprès des producteurs pour ce qui est des processus décisionnels.

Il a été validé à dire d'experts par 9 producteurs de Koumbia (3 agriculteurs, 3 éleveurs, 3 agro-éleveurs) à travers des simulations individuelles des données réelles de leur exploitation et l'analyse de leur point de vue sur le réalisme des sorties. Cette validation a conduit à vérifier la généricité des règles simulées pour chaque type de producteur et l'ordre de grandeur des sorties.

Le modèle a ensuite été utilisé pour simuler 1 série de 9 années virtuelles combinant des modalités plus ou moins favorables de pluviométrie et de prix des intrants et des produits (Tableau 1). Les simulations ont été réalisées pour 3 exploitations virtuelles dont les structures sont représentatives de celles des 3 types d'exploitation identifiés (Tableau 2).

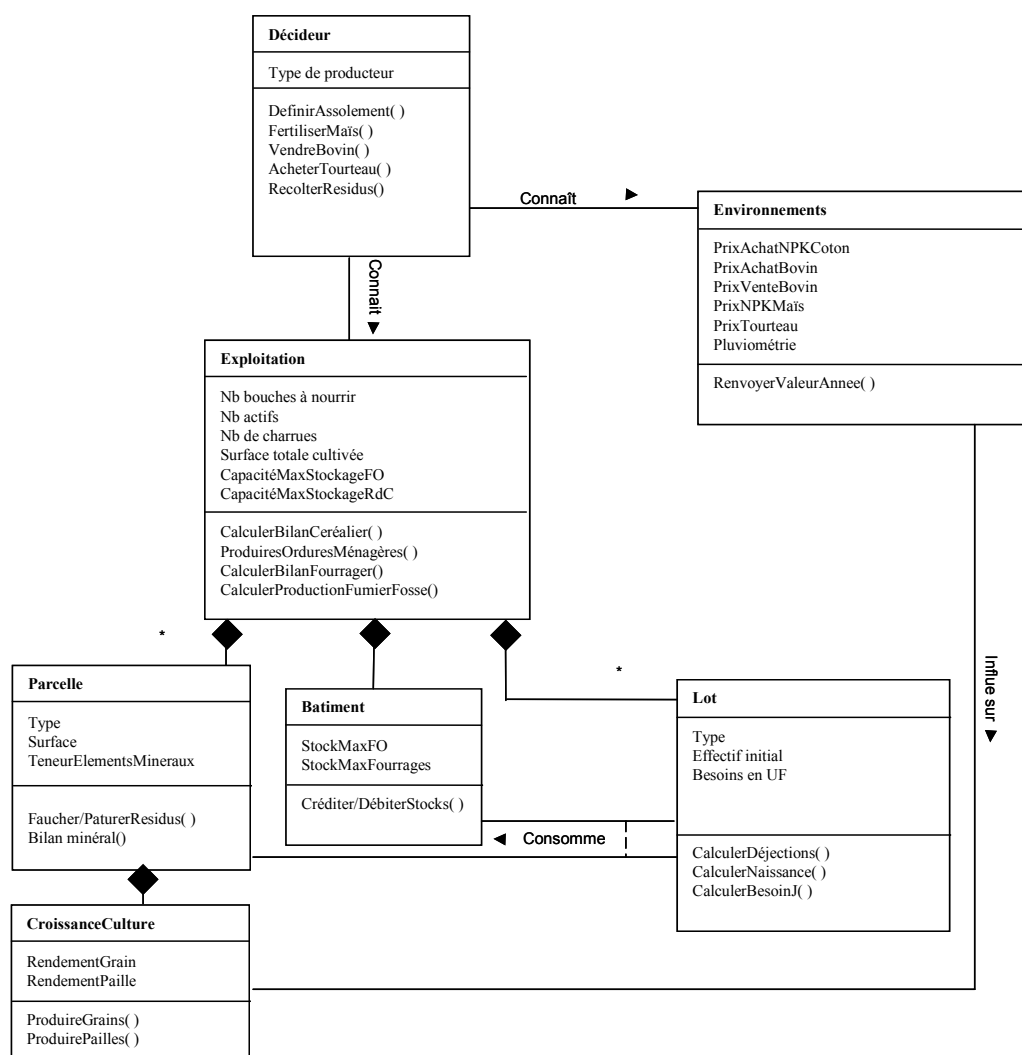


Figure 1. Diagramme de classe.

Dans la zone d'étude l'embouche bovine est souvent réalisée durant les 3 mois les plus secs de l'année. Elle consiste à acheter à bas prix des animaux amaigris du fait de la diminution des stocks fourragers, à les engraisser pendant 3 mois à partir de fourrages riches en azote et à les revendre en début de saison des pluies au moment où la demande est la plus élevée. La fosse fumière permet d'augmenter en qualité et quantité la fumure organique produite sur l'exploitation. C'est un ancien thème technique promu par la recherche (Sumberg, 1998) mais qui connaît aujourd'hui un regain d'intérêt face à l'augmentation du prix des intrants.

Pour chaque type d'exploitation l'introduction d'un atelier d'embouche ou d'une fosse fumière a été simulée. Pour chaque scénario simulé nous avons analysé la variabilité des sorties obtenus à travers l'écart-type. Une diminution de l'écart-type est considérée comme une amélioration de la flexibilité de l'exploitation.

Tableau 1. Caractéristique des séries d'années simulées.

	Précipitations (mm)	Prix du kg de coton	Prix du sac d'intrant chimiques (F)	Prix du sac de tourteau de coton (F)	Prix vente bovin d'élevage (F)	Prix d'achat bovin d'embouche (F)	Prix de vente bovin d'embouche (F)	Prix de vente litre de lait (F)
1	1200	190	12 500	13 000	75 000	180 000	225 000	150
2	1200	190	12 500	13 000	65 000	160 000	245 000	150
3	875	180	12 500	13 000	95 000	200 000	250 000	150
4	920	175	13 000	13 000	85 000	175 000	235 000	150
5	1110	170	13 000	14 000	90 000	170 000	235 000	140
6	910	200	13 500	15 000	90 000	180 000	230 000	140
7	1095	210	14 000	15 000	80 000	185 000	240 000	150
9	1122	190	14 500	14 000	95 000	175 000	230 000	200
9	900	190	15 000	14 000	90 000	180 000	228 000	150

Tableau 2. Caractéristiques structurelles des exploitations simulées.

	Agriculteur	Agro-éleveur	Eleveur
Surface totale (ha)	11	20	5
Effectif initial en bœufs d'élevage	1	10	17
Effectif initial en bœufs de trait	4	6	4
Effectif initial des vaches	2	10	18
Capacité maximale de stockage de la fumure organique (kg)	2 000	4 000	4 000
Capacité maximale de stockage des fourrages (kg)	4 000	9 000	9 000
Effectif de la famille	15	30	15
Surface initiale en coton	5	8	1
Surface initiale en maïs	4,5	6	2,5
Surface initiale en sorgho	1	4	1
Surface initiale en niébe	0,5	2	0,5

Résultats

Le modèle Simflex

Principes

Les enquêtes ont montré que les flexibilités tactique et opérationnelle, sont tous types de producteurs confondus, les premiers leviers d'adaptation mobilisés face à un aléa. Ces adaptations renvoient en effet à des horizons de temps courts (Tou, 2010). Ce sont aussi des ajustements individuels qui ne font pas intervenir des négociations avec d'autres producteurs ou institutions, ils sont donc plus facile à mettre en place et ont un coût de transaction moindre. La mobilisation des ajustements d'ordre stratégique a un coût plus élevé. Par exemple l'augmentation de la superficie à un coût monétaire (augmentation des dépenses de production), organisationnel (plus de main œuvre, de matériel et une localisation différente des cultures) et social (augmentation des conflits entre types de producteurs pour l'accès au foncier).

Ces enquêtes ont également montré que les formes de flexibilité diffèrent d'un type de producteur à l'autre. Ainsi chez les éleveurs la transhumance est une adaptation caractéristique de même que l'abandon du coton. Chez les agriculteurs l'abandon de la principale culture de rente est difficile mais les producteurs ajustent les surfaces ainsi que les quantités d'intrant. Chez les agro-éleveurs, la diversification des activités agropastorale est plus grande.

Dans le modèle Simflex, trois types de producteurs peuvent ainsi être modélisés, chacun avec des possibilités d'adaptation spécifiques. Cela signifie qu'en fonction du type de producteur choisi par l'utilisateur, les choix d'assolement, de fertilisation de fauche, d'achat de tourteau, de départ en transhumance ou de vente d'animaux vont varier.

Par exemple l'abandon du coton chez les éleveurs et les agro-éleveurs est une adaptation face au prix bas du coton. Chez les agriculteurs l'adaptation mobilisée sera une diminution de la surface en coton. Chez les éleveurs, si le bilan fourrager est déficitaire, les animaux ont la possibilité de partir en transhumance alors que chez les agriculteurs et agro-éleveurs le seul levier d'ajustement est la quantité de tourteau achetée.

Les variables externes qui jouent sur les adaptations mobilisées sont : le prix du coton, le prix des engrais et du tourteau. Les variables internes sont : le revenu, le bilan fourrager.

Variables d'états et échelles

Simflex simule sur un pas de temps annuel le fonctionnement d'une exploitation et comprend deux niveaux hiérarchiques : les parcelles et lots d'animaux d'une part et l'exploitation d'autre part (figure 1).

Chaque lot est décrit par un besoin fourrager et son effectif. Les parcelles sont décrites par le type de culture, leur surface et la teneur du sol en éléments minéraux.

L'exploitation comprend un ensemble de parcelles et de lots et est décrite par un ensemble de variables additionnelles telles que l'effectif de la famille, le nombre d'actifs, le nombre de charrues, les capacités maximales de stockage de fumure et de résidus.

Présentation générale des différents processus modélisés

Simflex comprend un sous modèle biophysique et un sous-modèle décisionnel. Chaque année le sous-modèle biophysique composé de différentes classes simule la production de biomasse et les exportations des systèmes de cultures (coton, maïs, sorgho, niébé) et des systèmes d'élevage (bœufs de trait, bœufs d'élevage, bœufs d'embouche et des petits ruminants) mais aussi du ménage à travers 7 processus :

- les besoins fourragers des animaux ;
- la reproduction des différents lots d'animaux ;
- la production de déjections des différents lots d'animaux ;
- les besoins céréaliers de la famille ;
- la production annuelle en grains et paille des cultures ;
- les exportations d'éléments minéraux (N, P, K) par les cultures ;
- la production de fumier.

Le sous-modèle décisionnel simule chaque année les décisions de conduite des systèmes de culture et d'élevage d'un producteur virtuel en fonction des sorties du modèle biophysique et des données de l'environnement (prix des intrants) :

- le choix d'assolement ;
- la fertilisation du maïs ;
- l'achat de tourteau et/ou le départ en transhumance du troupeau ;
- la vente d'animaux.

Chaque décision est décrite par une règle générale et une règle d'adaptation lorsque les conditions sont défavorables.

La chronologie de ces différents processus est représentée dans la figure 2.

Les différentes classes

On distingue 7 classes.

Environnement

Cette classe met à disposition des autres classes les données de l'environnement économique et climatiques précisées en entrée.

Lot

Il simule la production de déjections du lot durant la saison sèche (Eq.1), ses besoins fourragers (Eq. 2) et la reproduction (Eq.3).

$$D_{\text{lot}} = D_{\text{animal}} \times n_{\text{lot}} \quad \text{Eq.1}$$

Avec D_{lot} , la production de déjection du lot, D_{animal} , la production de déjection par animal et par jour et n_{lot} l'effectif du lot.

$$BF_{\text{lot}} = BF_{\text{animal}} \times n_{\text{lot}} \quad \text{Eq.2}$$

Avec BF_{lot} les besoins fourragers du lot, BF_{animal} les besoins fourragers par animal et par jour.

$$N = n_{\text{lot}} \times (1 - TM) \times TF \times IVV \quad \text{Eq.3}$$

Avec N le nombre de naissance, TM , le taux de mortalité à la naissance, TF le taux de fécondité et IVV , l'intervalle entre deux vêlages.

Parcelle

Cette classe simule le bilan minéral de chaque parcelle en fonction des exportations par les cultures et des apports par les engrais (Eq.4)

$$\text{Bilan}_{\text{min}} = A_{\text{min}} - \text{Besoin}_{\text{min}} \times (PG_{\text{culture}} + PP_{\text{culture}}) \quad \text{Eq.4}$$

Avec $\text{Bilan}_{\text{min}}$ le bilan minéral pour l'azote, le phosphore ou le potassium, A_{min} l'apport d'élément minéral par les engrais, $\text{Besoin}_{\text{min}}$ les besoins de la culture en élément minéral, PG_{culture} la production en grain de la culture, PP_{culture} la production de paille de la culture,.

CroissanceCulture

Cette classe simule la production de grains et de paille de chaque culture (Eq.5 et 6).

$$PG_{culture} = \text{Pluviométrie}_{année} \times \text{Coefficient} \times ECT_{culture} \times S_{culture} \quad \text{Eq.5}$$

Avec Coefficient, un paramètre variable en fonction du type de culture, $ECT_{culture}$, l'efficacité de conversion de la transpiration et $S_{culture}$ la surface de la culture

$$PP_{culture} = PG_{culture, année} \times R_{paille/grain} \quad \text{Eq.6}$$

Avec $R_{paille/grain}$ le rapport entre la production de paille et la production de grain de la culture.

Bâtiment

Cette classe gère l'évolution des stocks fourragers (Eq.7) et de fumure organique (Eq.8)

$$\text{Stock}_{\text{maïs, sorgho, niébe}} = \min (\text{Stock}_{\text{maïs, sorgho, niébe}} : C\text{StockMaxFour}) \quad \text{Eq.7}$$

Avec $\text{Stock}_{\text{maïs, sorgho, niébe}}$ le stock de paille de maïs, sorgho ou niébé qui évolue en fonction de la quantité fauchée et la consommation par les animaux et $C\text{StockMaxFour}$ la capacité maximale de stockage de fourrage.

Le maïs est stocké en priorité puis le sorgho et enfin le niébé.

$$\text{StockFum} = \min (\text{StockFum} : C\text{StockMaxFum}) \quad \text{Eq.8}$$

Avec StockFum le stock de fumier qui évolue en fonction de la production de fumier et de la fertilisation et $C\text{StockMaxFum}$ la capacité maximale de stockage du fumier.

Les animaux stabulés sont par défaut les bœufs d'embouche, les bœufs de trait et les vaches.

Exploitation

Cette classe calcule la production potentielle de fumier (Eq.9), le bilan céréalier du ménage (Eq.10) et le bilan fourrager (Eq.11).

$$PF = \sum D_{lot} + n\text{Famille} \times POM \quad \text{Eq.9}$$

Avec PF la production de fumier, $n\text{Famille}$ l'effectif de la famille, POM , la production individuelle annuelle d'ordures ménagères. Les déjections collectées pour la production de fumier sont celles des animaux stabulés durant la saison sèche chaude. Les animaux stabulés sont par défaut les bœufs d'embouche, les bœufs de trait et les vaches.

$$\text{BilanCer} = PG_{\text{maïs}} + PG_{\text{sorgho}} - (n\text{BouchNour} \times \text{BCer}) \quad \text{Eq.10}$$

Avec BilanCer le bilan céréalier et BCer le besoin individuel annuel en céréales.

$$\text{BilanFour} = \text{Stock}_{\text{maïs, sorgho, niébe}} - \sum BF_{lot} \quad \text{Eq.11}$$

Avec BilanFour le bilan fourrager des animaux stabulés pendant la saison sèche chaude

Décideur

Le Tableau 3 décrit les règles de décision simulées par la classe décideur en fonction du type de producteur. Les seuils déclenchant les décisions sont fixés par l'utilisateur et peuvent être changés d'un type de producteur à l'autre.

Simulation des impacts de différentes propositions techniques

L'analyse du Tableau 4 montre que chez les éleveurs le revenu est inférieur à celui des agriculteurs et agro-éleveurs. Chez ces derniers le solde provient des ventes de coton et des surplus céréaliers, ventes qui sont plus limitées et occasionnelles chez les éleveurs. Mais il faut signaler que ce calcul représente les flux monétaires, la valeur de leur cheptel n'a pas été comptabilisée.

Chez les agriculteurs et agro-éleveurs, l'introduction de l'embouche bovine se traduit par une augmentation des achats de tourteau et une diminution du revenu par rapport au scénario de référence. Chez les éleveurs, l'introduction de l'embouche bovine entraîne comme chez les autres producteurs une augmentation de la demande fourragère mais qui là qui se traduit par des achats plus importants de tourteau mais aussi par une durée plus longue de la transhumance. La possibilité de recourir à la transhumance limite ainsi les quantités achetées de tourteau et permet une augmentation du revenu. La fosse fumièrse se traduit chez les trois types de producteurs par une diminution plus ou

moins marquée des achats d'engrais et par conséquent une augmentation du revenu par rapport au scénario de référence.

Tableau 3. Règles de décision simulées.

	Agriculteur	Agro-éleveur	Eleveur
Assolement	Si le prix du coton est inférieur à un seuil alors le producteur diminue d'un tiers sa surface en coton et augmente d'un tiers sa surface en maïs	Si le prix du coton est inférieur à un seuil alors le producteur abandonne la culture du coton et alloue la moitié de la surface au maïs et l'autre au sorgho	Si le prix est inférieur à un seuil alors le producteur abandonne la culture du coton et alloue la moitié de la surface au maïs et l'autre au sorgho
La fertilisation du maïs	Si le prix des engrais est supérieur à un seuil alors le producteur n'achète pas d'engrais minéraux sur le maïs et n'apporte que de la fumure organique Sinon il apporte des engrais minéraux et la fumure produite	Si le prix des engrais est supérieur à un seuil alors le producteur n'achète pas d'engrais minéraux sur le maïs et n'apporte que de la fumure organique Sinon il apporte des engrais minéraux et la fumure produite	Si le prix des engrais est supérieur à un seuil alors le producteur n'achète pas d'engrais minéraux sur le maïs Sinon il apporte des engrais minéraux et la fumure produite
Vente de bovins	Lorsque le revenu est négatif le producteur vend suffisamment d'animaux pour rétablir l'équilibre du bilan économique	Lorsque le revenu est négatif le producteur vend suffisamment d'animaux pour rétablir l'équilibre du bilan économique	Lorsque le revenu est négatif le producteur vend suffisamment d'animaux pour rétablir l'équilibre du bilan économique
Achat de tourteau	Lorsque le bilan fourrager est déficitaire et que le prix d'achat du tourteau est faible alors le producteur achète du tourteau lui permettant de combler le déficit fourrager, sinon il divise ses achats par 2	Lorsque le bilan fourrager est déficitaire et que le prix d'achat des tourteaux est faible alors le producteur achète du tourteau lui permettant de combler le déficit fourrager, sinon il réduit ses achats par 2	Lorsque le bilan fourrager est déficitaire et que le nombre d'animaux à vendre pour acheter la quantité nécessaire de tourteau pour combler le déficit fourrager est inférieure à 5 alors le producteur achète du tourteau, sinon il n'en achète pas
Départ en transhumance	-	-	Lorsque le bilan fourrager est déficitaire et que le nombre d'animaux à vendre pour acheter du tourteau est supérieur à 5 alors le producteur part en transhumance

L'introduction de l'embouche bovine se traduit par une augmentation de la variabilité interannuelle du revenu alors que l'introduction de la fosse fumièr tend à diminuer cette variabilité. On constate que l'embouche se traduit certaines années (années 2, 4, 5) par un résultat économique supérieur à celui de référence. Ces années combinent pluviométrie importante (années 2 et 5 en particulier) ayant un impact positif sur la ressource fourragère avec un prix bas des intrants (animal embouché, tourteau) et/ou un prix de vente élevé d'un animal embouché, mais pour les autres années le revenu est inférieur à celui du scénario de référence. Pour ce qui est de la fosse fumièr, le revenu est supérieur quel que soit les caractéristiques de l'année.

Tableau 4. Résultats des simulations pour les trois scénarios et les trois types de systèmes de production (M : moyenne, ET : Ecart-type).

Type agriculteurs		référence		Avec embouche		Avec fosse fumière	
Agriculteur	Variable	M	ET	M	ET	M	ET
	Nombre de sacs de tourteau achetés	12	7	22	9	12	7
	Nombre de sacs d'engrais achetés	17,21	3,06	17,19	3,05	16,70	3,23
	Nb de jours de transhumance	0	0	0	0	0	0
	Revenu (Kcfa)	1 438	235	1 404	260	1 445	232
Agro-éleveur	Variable	M	ET	M	ET	M	ET
	Nombre de sacs de tourteau achetés	37	32	62	37	37	32
	Nombre de sacs d'engrais achetés	23,31	7,32	23,26	7,32	18,45	8,23
	Nb de jours de transhumance	0	0	0	0	0	0
	Revenu (Kcfa)	2 167	795	2 088	881	2 234	777
Eleveur	Variable	M	ET	M	ET	M	ET
	Nombre de sacs de tourteau achetés	27	24	34	27	27	24
	Nombre de sacs d'engrais achetés	4,53	1,80	4,48	1,71	1,45	2,41
	Nb de jours de transhumance	27	8	31	6	27	8
	Revenu (Kcfa)	259	370	434	448	301	371

Discussion

Originalité de la méthode d'analyse de la flexibilité

Le modèle Simflex focalise sur quelques règles de conduite des systèmes de culture et d'élevage et par conséquent ne tient pas compte de toute la gamme des leviers utilisés pour faire face à la variabilité de l'environnement. Le recours aux activités extra-agricoles, la vente de main d'œuvre ou encore le recours aux réseaux sociaux d'entraide sont des leviers de flexibilité non représentés dans le modèle. Simflex modélise néanmoins la majorité des leviers mobilisés au sein de l'exploitation tels que la coexistence des activités d'agriculture et d'élevage, la diversification du système de culture, l'ajustement de l'assolement et de l'utilisation des intrants, la mobilité par le départ en transhumance. Simflex constitue de ce fait un outil d'analyse permettant de dépasser les approches le plus souvent descriptives de la flexibilité des systèmes de production en Afrique de l'Ouest (Adams et Mortimore, 1997 ; Milleville, 1989). Il permet d'analyser comment au sein du système de production ces différents leviers sont mobilisés et leur impact sur les résultats de production de l'exploitation. Il permet surtout de fournir des éléments de réponse sur la place de l'innovation au sein de la gamme des leviers d'adaptation mobilisés par le producteur. L'innovation n'est donc pas considérée comme un seul changement technique, mais également comme un changement organisationnel (Flichy 1995 ; Akrich *et al.*, 1988) qui s'insère au sein d'un système de production soumis à son environnement.

Quels enseignements sur la conception de l'innovation ?

L'introduction de la fosse fumièrre améliore la flexibilité des systèmes de production en limitant la variabilité des résultats de production. En revanche l'embouche bovine semble diminuer cette flexibilité.

Les techniques analysées dans cet article illustrent deux voies possibles d'adaptation face aux aléas. L'introduction d'un atelier d'embouche illustre une utilisation des modifications de l'environnement au service de la stratégie de production via l'achat d'animaux maigres durant la saison sèche et leur revente en début de saison des pluies sur les marchés d'Afrique de l'Ouest les plus dynamiques. Certains auteurs parlent de flexibilité pro-active pour décrire les stratégies consistant à mettre les modifications de l'environnement au service de leur stratégie (Julien, 1997). Cette flexibilité nécessite de développer des capacités spécifiques d'analyse de ces modifications voire d'influer sur ces modifications. L'embouche bovine nécessite de définir des nouvelles pratiques d'alimentation, de conduite du troupeau ainsi que les pratiques de commercialisation. Ces nouvelles pratiques ne sont pas seulement le produit des éleveurs mais aussi des techniciens, chercheurs, commerçants qui vont permettre ou non la réalisation de certaines pratiques. La dimension collective, dans la conception des innovations liées à l'embouche bovine, est très importante.

La construction d'une fosse illustre une recherche d'autonomie pour être moins sujets aux fluctuations de l'environnement et s'inscrit dans la gamme des adaptations mises en œuvre par le producteur pour fractionner les effets négatifs des aléas par un panel d'activités (pluriactivité, polyculture, intégration agriculture-élevage) ou diminuer la dépendance du système vis-à-vis de l'extérieur en ce qui concerne les fourrages industriels (transhumance) et le crédit (capitalisation sous forme d'élevage). Mais ce deuxième type d'adaptation correspond davantage à une flexibilité réactive (Chia et Marchesnay, 2008)

Mais ces techniques ont chaque fois un coût. Coût qui ne se traduit pas seulement par des dépenses supplémentaires mais aussi par des nouveaux processus d'apprentissage et de mécanismes de gestion (Chia et Marchesnay, 2008). La recherche a alors un rôle à jouer dans l'analyse de ces coûts afin de favoriser l'adaptation des systèmes de production.

Selon Abdulai et Croleress (2001), les politiques incitant les producteurs à investir dans une seule activité et à favoriser sa productivité font fausse route étant donné la nécessité qu'ont les systèmes de maintenir leur capacité d'adaptation.

Ce constat ouvre des perspectives en terme de conception de systèmes innovants où l'enjeu ne serait pas de construire des systèmes performants en termes techniques mais opérationnels face à un environnement en mutation.

Conclusion

Cet article présente un modèle d'exploitation capable de simuler plusieurs des leviers d'adaptation mobilisés par les producteurs au sein de l'exploitation. Ce modèle permet alors de tester les impacts de l'introduction de fosse fumièrre ou de l'embouche bovine sur la flexibilité des systèmes de production.

L'introduction d'une fosse fumièrre permet de limiter la variabilité des résultats de production et s'inscrit dans la gamme des adaptations déjà mobilisées par les producteurs pour diminuer la dépendance des systèmes vis-à-vis de l'extérieur. L'embouche bovine peut entraîner des résultats négatifs selon les années et nécessite de développer des compétences pour analyser l'opportunité de mener cette activité ou comme chez les éleveurs de s'affranchir de la dépendance au tourteau de coton par la pratique de la transhumance en fonction de l'état de la ressource fourragère.

Néanmoins tous types de systèmes de production confondus les réponses apportées aux mutations de l'environnement et modélisées sont plus réactives que pro-actives. La faible proactivité de ces systèmes questionne plus largement sur leur capacité à s'adapter au changement global. Les propositions techniques doivent permettre à ces systèmes d'atteindre plus d'autonomie pour s'affranchir des fluctuations de l'environnement ou au contraire de les mettre à profit en développant une nouvelle activité.

Travailler sur la conception de systèmes innovants implique de renforcer la flexibilité de ces systèmes et implique aussi pour la recherche de considérer l'innovation comme un phénomène sociotechnique et organisationnel.

Bibliographie

- ABDULAI A., CROLERESS A., 2001. Determinants of income diversification amongst rural households in Southern Mali. *Food policy*: 437-452.
- ADAMS W.M., MORTIMORE M. 1997. Agricultural Intensification and Flexibility in the Nigerian Sahel. *The Geographical Journal* 163:150-160.
- ADESINA A.A.A., OUATTARA A.D., 2000. Risk and agricultural systems in northern Côte d'Ivoire. *Agricultural Systems* 66 : 17-32.
- AKRICH M., CALLON M., LATOUR B., 1988a. A quoi tient le succès des innovations? L'art de l'intéressement. In : *Gérer et Comprendre*, Paris, France, Annales des Mines 11 pp 4-17.
- AKRICH M., CALLON M., LATOUR B., 1988b. A quoi tient le succès des innovations? L'art de choisir les bons porte-parole. In : *Gérer et Comprendre*, Paris, France, Annales des Mines 12 pp 14-29.
- BARTHELEMY J., DONADA C., 2007. Décision et gestion de l'externalisation. Une approche intégrée. *Revue française de gestion* 177 : 101-111.
- CHIA E., MARCHESNAY M., 2008. Un regard des sciences de gestion sur la flexibilité : enjeux et perspectives, in: *L'élevage en mouvement. Flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores*. Dedieu, B., Chia, E., Moulin, C. Tichit, M. (Eds.), Ed. Quae, Versailles, France, pp. 23-36.
- COOPER P.J.M., DIMES J., RAO K.P.C., SHAPIRO B., SHIFERAW B., TWOMLOW S.J., 2008. Coping better with current climatic variability in the rain-fed farming systems of sub-Saharan Africa: An essential first step in adapting to future climate change? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 126 : 24-35.
- DEDIEU B., LOUAULT F., TOURNADRE H., BENOIT M., 2008. Réponse de systèmes d'élevage innovants à la variabilité climatique: une expérimentation en production extensive ovin viande intégrant des préoccupations environnementales, in: *L'élevage en mouvement. Flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores*, Dedieu, B., Chia, E., Moulin, C. Tichit, M. (Eds.), Versailles, France, Ed.Quae, pp. 161-178.
- DIOP, A. T., COULIBALY, A., 2002. Guide technique pour l'établissement et la gestion de cultures fourragères pour l'augmentation de la production laitière dans les zones péri-urbaines. Dakar, Sénégal FAO, 79 p.
- DOSTIE B, HAGGBLADE S, RANDRIAMAMONJY J, 2002. Seasonal poverty in Madagascar: magnitude and solutions. *Food Policy*, 27: 493-518.
- DUGUE P., VALL E., LECOMTE P., KLEIN H.D., ROLLIN D., 2004. Evolution des relations entre l'agriculture et l'élevage dans les savanes d'Afrique de l'Ouest et du centre. Un nouveau cadre d'analyse pour améliorer les modes d'intervention et favoriser les processus d'innovation. *OCL* 11: 268-275.
- ERRINGTON A., GASSONT R., 1994. The Increasing Flexibility of the Farm and Horticultural Workforce in England and Wales. *Journal of rural studies* 12 : 127-141.
- IEMVT, 1988. Manuel vétérinaire des agents techniques de l'élevage tropical. Maison alfort, France, La documentation française, 533 p.
- INGRAM K.T., RONCOLI M.C., KIRSHEN P.H., 2002. Opportunities and constraints for farmers of west Africa to use seasonal precipitation forecasts with Burkina Faso as a case study. *Agricultural systems* 74: 331-349.
- INGRAND S., CHIA E., MOULIN C.-H., CESSIEUX J., 2006. Commercial flexibility of beef cattle farms, in: Langeveld, H. Röling, N. (Ed.), *Changing European farming systems for a better future. New visions for rural areas*, Wageningen, the Netherlands, Wageningen Academic Publishers, pp. 252-256.
- JULIEN F., 1997. *Traité de l'efficacité*. Paris, France, Grasset, XX p.
- LEV L., CAMPBELL D.J., 1987. The temporal dimension in farming systems research: the importance of maintaining flexibility under conditions of uncertainty. *Journal of rural studies* 3: 123-132.
- MILLER F., H. OSBAHR E. BOYD, F. THOMALLA S. BHARWANI G. ZIERVOGEL B. WALKER J. BIRKMANN S.V.D. LEEUW J. ROCKSTRÖM J. HINKEL T. DOWNING C. FOLKE, NELSON D.D., 2010. Resilience and Vulnerability: Complementary or Conflicting Concepts? *Ecology and Society* 15: XX-XX.
- MILLEVILLE P. 1989. Activités agropastorales et aléa climatique en région sahélienne. In : . *Le risque en*

- agriculture, Milleville, P. et Eldin, M. (Ed.), Paris, France, ORSTOM Editions, pp. 233-241.
- PIERI C., 1989. Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Paris, France, Ministère de la Coopération et du Développement, CIRAD, XX p.
- ROCKSTRÖM J. 2003. Resilience building and water demand management for drought mitigation. *Physics and Chemistry of the Earth* 28 : 869-877.
- SANGARE M., 2005. Synthèse des résultats acquis sur l'élevage des petits ruminants dans les systèmes de production animale d'Afrique de l'Ouest. Bobo-Dioulasso, CIRDES, URPAN, 165 p.
- STRINGER L.C., DYER J.C., REED M.S., DOUGILL A.J., TWYMAN C., MKWAMBISI D., 2009. Adaptations to climate change, drought and desertification: local insights to enhance policy in southern Africa. *Environmental Science & Policy* 12: 748-765.
- STONEHOUSE D.P., VOS G.W.D., WEERSINK, A. 2002 Livestock manure systems for swine finishing enterprises. *Agricultural Systems* 73: 279-296.
- SUMBERG, J., 1998. Mixed farming in Africa: the search for order, the search for sustainability. *Land use policy* 15: 293-317.
- THOMAS D.S.G., TWYMAN C., OSBAHR H., HEWITSON B., 2007. Adaptation to climate change and variability: farmer responses to intra-seasonal precipitation trends in South Africa. *Climatic Change* 83: 301-322.
- TORKAMANI J., 2005 Using a whole-farm modelling approach to assess prospective technologies under uncertainty. *Agricultural Systems* 85 : 138-154.
- TOU Z., 2010. Gestion des systèmes de culture et d'élevage et flexibilité des exploitations agricoles face aux variabilités climatiques et économiques en zone cotonnière Ouest du Burkina Faso : Cas de Koumbia et Kourouma. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, Mémoire d'ingénieur. UPB, 61p.
- TWOMLOW S., MUGABE F.T., MWALE M., DELVE R., NANJA D., CARBERRY P., HOWDEN M., 2008. Building adaptive capacity to cope with increasing vulnerability due to climatic change in Africa – A new approach. *Physics and Chemistry of the Earth* 33 : 780-787.
- VALL E., ANDRIEU N., DUGUE P., RICHARD D., TOU Z., DIALLO, M., 2008 Evolutions des pratiques agropastorales et changements climatiques en zone soudano-sahélienne d'Afrique de l'Ouest : proposition d'un modèle conceptuel de l'interaction climat-écosystèmes de production agropastoraux. In : *Changements climatiques et interactions élevage environnement en Afrique de l'Ouest*, Niamey, Niger, 11-15 février 2008, Atelier sous Régional, Bobo-Dioulasso, CIRDES, pp XX-XX.
- VOLBERDA H.W., 1996. Toward the flexible form : how to remain vital in hypercompetitive environments. *Organization science* 7: 359-374.
- WEISS C.R., 2001. On flexibility. *Journal of Economic Behavior & Organization* 46: 347-356.